

# 高解析度線型 CCD 模組之發展

## Developing of the Circuit of High-Resolution Linear CCD Module

黃基哲、吳孟修、林群富、黃哲政

Ji-Jer Huang, Meng-Hsiu Wu, Chun-Fu Lin, Che-Cheng Huang

感測器裝置類似人類視覺神經，將收集的影像光能轉換成便於人們處理的電能，更進一步進行數位化後，能方便後續的資訊處理。目前最常為人們使用的光感測器有電荷耦合元件與互補式金屬氧化半導體元件兩種技術，我們會稍加介紹其原理與優缺點。CCD 感測器技術具有較佳的靈敏度、較高的訊雜比與較好的穩定性，本研究使用高解析度線型 CCD 感測器作為基礎，並以模組概念來進行設計規劃，經由電路的設計、製造、組裝與除錯，並配合韌體與軟體的撰寫，初步已完成整個模組。並經由初步的光電參數量測，獲得整個模組之性能，具有良好的線性度 ( $R^2 = 0.998$ ) 與均勻度 ( $PRNU < 10\%$ ) 的表現。同時經由與鏡頭的搭配及對焦工作的完成，實際進行戶外取像測試，所獲得的戶外影像，成功地驗證系統實際的可行性，亦提供未來須改進之處。

The detecting device is similar to the human vision nerve. The image light energy collected is changed into the electric energy that convenient people dealt with. At same time, the signal will be digitalized to further information processing. The light detecting device most often used for people at present are the both devices, one is charge coupled device (CCD); the other is complementary metal oxide semiconductor (CMOS). We will introduce their principles and it's excellence and drawback a little. Because CCD detecting device has many advantages that are better sensitivity, higher value of SNR and good stability, the high resolution linear CCD is used in this research. And module idea is applied to design. The preliminarily CCD module had been finished via our circuit design, manufacture, assemble with except fault, and writing firmware and software. By the experiment of preliminary photoelectric parameters, we obtained these parameters including better linearity which is better than 0.998 and good PRNU is less than 10% about our designed module. At the same time, the lens were mounted and focused at the focus plane of CCD device. After, we did experiment of capture image outdoor and obtained the real outdoor image, succeeded in verifying the feasibility with this CCD module system, also offer us to improve the problems in the future.

## 一、前言

影像感測器在我們週遭的環境應用已相當普遍，舉凡各停車場及路口等皆有其身影，在更高階的應用如生產線上的即時檢測及光電儀器上的使用等，更甚者，衛星上的光學遙測酬載或軍事用途的間諜衛星等，這些技術的背後上有一個相當重要的共通點，便是具有類似人類視覺神經一般的感測器裝置，能將收集到的影像光能轉換成便於人們處理的電能，更進一步進行數位化後，能方便後續的資訊處理。然而在光感測器上目前最常為人們使用的有電荷耦合元件 (charge coupled device, CCD) 與互補式金屬氧化半導體元件 (complementary metal oxide semiconductor, CMOS) 兩種感測器技術，下文將介紹其原理與彼此之優缺點<sup>(1)</sup>。由於目前的技術，電荷耦合元件具有較佳的靈敏度、較高的訊雜比與較好的穩定性，所以本研究使用 CCD 為設計基礎之感測器，研製高解析度線型 CCD 模組，並進行製造及測試，以模組概念進行規劃設計，以下文章分別對系統架構、電路模組加以介紹。同時為了解整個系統模組的性能，我們進行了光電參數的測試及戶外取像測試，獲得實際的量測值，作為修正系統與調整元件的重要參考。

## 二、光電感測器簡介

目前最常使用在擷取影像上的光電感測器元件有電荷耦合元件與互補式金屬氧化半導體等兩種感測元件，放置於系統中成像的焦平面上，將光的輻射能轉換成電荷之電能，其中最小的轉換單元稱為一個像素 (pixel)，一個像素是由一個感光二極體 (photodiode) 所形成；感光二極體排列的方式大致可分為線型及面型兩種。而目前 CCD 與 CMOS 兩種光電感測器皆各有其優缺點，主要的差異在於感光二極體的結構設計與分別採用的製程技術不同，一般而言，CMOS 感測器是採標準的 CMOS 晶片製程，所以易於與其他的電路進行整合，如控制器、數位信號處理器、A/D 轉換器及類比電路等，具有降低晶片製作成本的優勢，並達到輕薄短小及低功率消耗的好處。然而其缺點為元件本質上暗電

流的雜訊高，因此在被動式及主動式的 CMOS 感測器中，採用後者以增加它的訊雜比 (SNR)，但也降低感光面積的比例 (fill factor)，減少感測器收光的大小，雖可增加微鏡片 (micro lens) 的設計以增加集光的能力，但就目前的技術而言，影像品質還是較 CCD 感測器產品來得差。所以 CMOS 感測器目前主要應用在中低階的數位相機系統。而本質上 CCD 感測器有較低的暗電流雜訊，且感光面積比率也較高，所以它的訊雜比也較佳。但因 CCD 感測器結構設計與一般的製程技術不同，所以不易在感測器內整合其他功能電路。而且 CCD 感測器的驅動時脈較為複雜，同時需要提供多種時脈脈波與不同電壓位準，並需考慮訊號之匹配以擷取有效之視訊，進行訊號處理。所以需要搭配的周邊電路較為複雜。整體而言，CCD 感測器電路耗電量較大，也相對的體積較大且成本高，因此適合用於精密量測儀器與較高階數位相機。

本研究主要針對 CCD 感測器進行探討，故在此感測器的感光部分進行較詳盡的說明<sup>(2,3)</sup>。就每個感光二極體像素單元可由以  $P$  型為矽基板 (silicon substrate) 製造為例，使用一層絕緣氧化物 (silicon dioxide) 及  $PN$  型二極體，當提供正電壓於二極體時，便會造成一個空乏區 (depletion region)，此區域的電位能會形成一個位能井 (potential well) 與位能壁 (potential barrier) 如圖 1(a) 所示。當不同波長的光子入射到感光二極體時，如光子能量足夠會激發價電子進入導通帶 (conduction band)，則會產生光電轉換效應，使電子儲存於位能井中，而產生的電子數量正比於光子能量大小，如圖 1(b) 所示<sup>(4)</sup>。

將感光二極體中的電荷依序傳輸至輸出端，有賴一序列的時脈與電壓位準的變化，若以輸出的方式及感光二極體排列的位置，大致可分成下列幾種類型<sup>(5,6)</sup>。線性矩陣法 (linear arrays)、交錯傳輸法 (interline transfer)、前進掃描法 (progressive scan)、時間延遲積分法 (time delay and integration)、全圖框法 (full frame) 及圖框傳輸法 (frame transfer)。以上幾種方式不僅在輸出的方式有所差異，而且在感光二極體佔有全部晶片的有效面積，亦有所不同。而驅動的時脈變化約有下列四種技術，(1) 四相位法，(2) 三相法，(3) 二相位法及 (4) pseudo 二相

### 三、系統架構與實現

#### 1. CCD 模組電路模組

高解析度線型 CCD 模組系統可由電路模組與鏡頭組成，本文主要重點在於探討電子電路的設計及撰寫模組所需的軟體與人機介面軟體，進行爾後的影像資料擷取。同時建構所需的測試平台，進行物理特性量測，如線性度 (linearity) 及感測器均勻度 (photoresponse non-uniformity, PRNU) 等參數。同時應用已完成的電路模組配合鏡頭，進行實際的取像測試。

線型 CCD 模組的系統方塊圖如圖 2 所示，模組使用 Kodak 的 KLI-14403 CCD 做為感測器，並置於鏡頭焦平面上，將光能轉換成電信號。電路模組中第一部分是感測器週邊的前端電路及時脈驅動電路所組成，第二部分是屬數位訊號的相關電路所構成，包含主時脈的電路、不同時脈脈波的產生、雙鉗制取樣電路 (correlated double sampling, CDS)、類比數位轉換電路、低電壓差分信號 (low voltage different signaling, LVDS) 介面電路、控制器電路及串列式的介面電路等等。第三部分是產生不同電壓的電路所組成。每部分皆是一個次系統，彼此間更必須相互聯繫與搭配，並針對 CCD 感測器進行低雜訊與低干擾的設計，在此筆者採用模組化

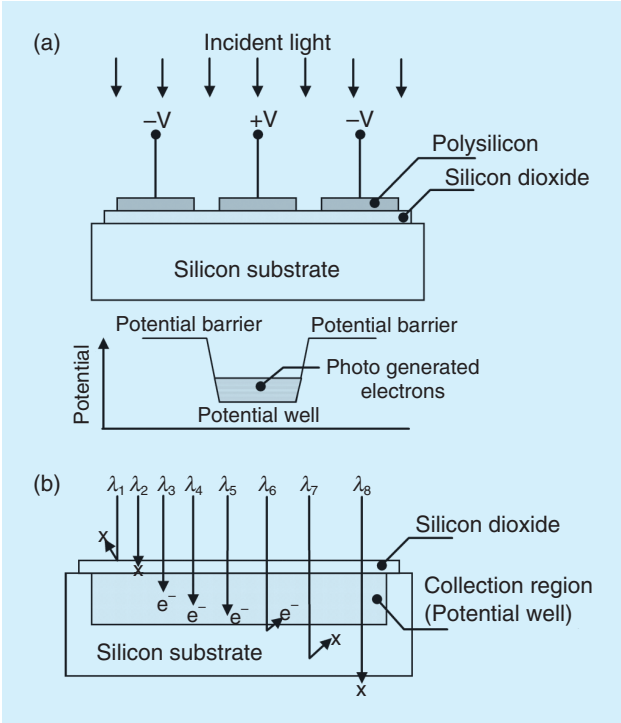


圖 1. 感光二極體的基本架構：(a) 位能井與位能壁，(b) 不同波長的光電轉換。

位法。在本文中採用線性矩陣法的線型 CCD 感測器，由 Kodak 公司所生產的線型 CCD-KLI 14403<sup>(7)</sup>，及使用二相位法的時脈將電荷導出。

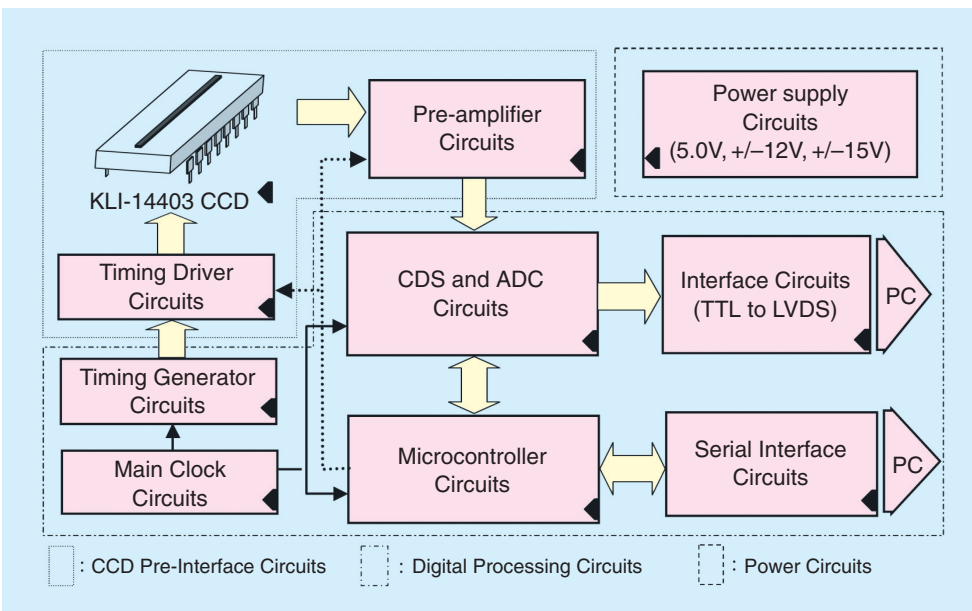
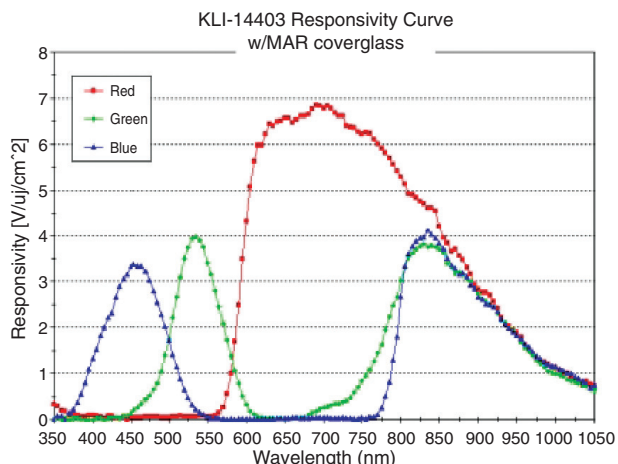
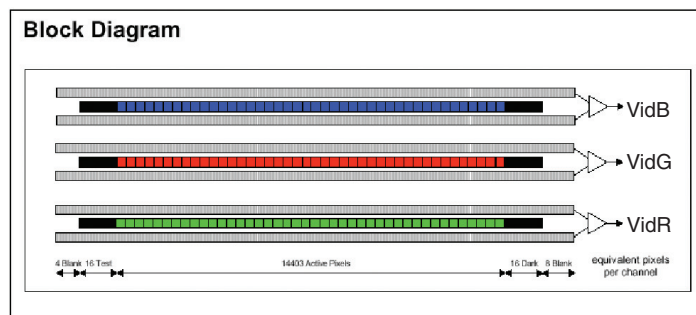


圖 2. 系統方塊圖。



(a)



(b)

圖 3.(a) Kodak 14403 之光譜響應，(b) 其內部架構。

的設計，將雜訊多或易於產生熱的電路相互隔離，以減少互相影響的機會。並且因模組化能較易於除錯的進行及製造分工等優點，所以此線型 CCD 系統模組由四個次模組所構成，每一個次模組皆形成一電路板層，最後系統模組還需一組電源供應器所組成<sup>(8)</sup>。

本研究選用的 CCD 感測器是 KLI-14403，它是由三排各 14403 個像素的感測二極體所組成，並已分別內建 R、G、B 三色的濾光片。因此整個感測器可形成一個彩色的 CCD 影像元件，輸出 RGB 三原色的光強度信號，像素的大小為  $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ ，每個頻道最大的像素輸出資料速度 (data rate) 為 10 MHz。感測器的光譜響應及內部架構如圖 3(a) 及

(b) 所示。由於 CCD 或 CMOS 感測器因材料關係對近紅外光有較大的反應特性，所以需外加濾光片，用以去除此波段能量的光，以防止曝光過度及降低藍光與綠光範圍的靈敏度。第一板層主要是 CCD 感測器的焦平面電路板層，其中週邊電路由不同電壓產生電路、時脈驅動電路及前端電路等。這部分的電路對視訊信號的抗雜訊及不失真的要求很高，直接影響著整個系統性能的優劣，才不至於使雜訊與其他干擾影響感測器的視訊信號輸出。所以在這板層的邏輯晶片電源，皆經高頻濾波處理的電源注入，因此模組的工作頻率範圍在 50–20 MHz，故選擇在此頻率範圍的 ferrite bead 元件能產生高阻抗，用於阻隔高頻雜訊進入類比電路端。相同的情形，接地端需確保類比電路與數位電路有相同的參考電位，故兩地線串聯 ferrite bead 元件作為阻隔高頻雜訊，藉此阻隔雜訊，避免電源線路相互干擾。感測器的視訊信號輸出端連接至前端電路，前端電路主要的目的是完成並不受雜訊干擾的將視訊信號送至下級。本研究中採用射極隨耦器的設計，將信號取出，並經阻抗匹配導出低失真的視訊信號，電路圖如圖 4 所示， $R_{in}$  表示視訊端的輸入阻抗， $R_{out}$  表示經匹配後的輸出阻抗，其阻抗值因要與輸出的傳輸線進行阻抗匹配，所以設計的阻抗值與使用的傳輸線輸入阻抗 50 歐姆相同。而此電路的電壓增益 ( $A_v$ ) 約等於 1。用傳輸時脈與重置時脈驅動電路需考慮反應快速的特性。時脈驅動電

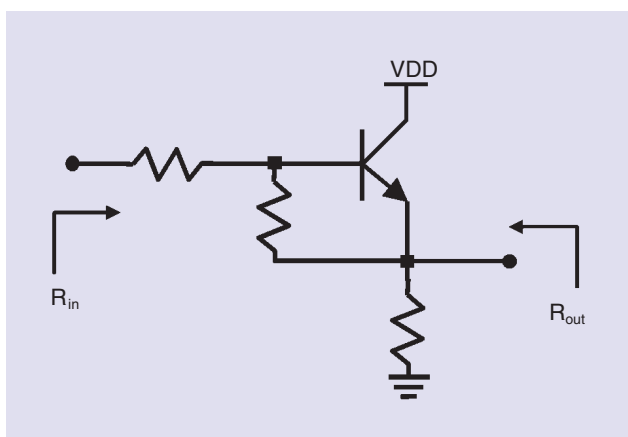


圖 4. 前端電路。

路使用 EL7156C 的晶片，其上升與下降時間相當短 (rise time; fall time)，約只有 0.5 ns，頻率的響應快，約可達 40 MHz，具有高速電晶體設計成 push-pull 的開關，並具有三態的輸出特性。

從第一板層導出低失真的視訊信號，將其送至第二板層，進行類比信號轉換成數位資料的工作。在此，我們使用 AD9816 的晶片，其具有 12 位元的資料深度、最快 6 MHz 的取樣速率及像素相關雙取樣 (pixel-CDS) 電路技術<sup>(9)</sup>，而每一像素皆有一個鉗位 (clamp) 時脈信號及一個視訊的取樣信號，用以使兩電壓的差值得到所要的視訊值，時脈信號的相關圖如圖 5 所示。使用此種方法可使取樣的量測信號變化的範圍更具彈性，且特別對快速的視訊信號具有抗雜訊的能力。同時也可以經由軟體的設定調整其增益及偏移電壓準位的優點，所以設計上更具有相當彈性。經轉換的數位資料使用 LVDS 晶片使其具有高速傳輸、低耗電、低錯誤率、低串擾 (cross-talk) 及低輻射的特性，已符合 ANSI/TIA/EIA-644 標準<sup>(10)</sup>，將視訊的數位資料轉換成高速的差分訊號傳輸至外部的擷取介面。在這板層中也需處理類比與數位訊號的接地問題，必須確保在視訊信號進入類比數位轉換前不受其雜訊的干擾，能正確且不失真擷取。同時為求得高速的資料輸出，使用三個轉換晶片，分別對 CCD 感測器傳出的 R、G、B 的視訊信號進行轉換。

而第三板層便是產生此系統模組所需的時脈信號，我們採用美商 Altera 公司所生產的 FPGA 晶片型號為 EPM7256SQC。在此所使用二相式傳輸電荷信號，所需要的水平時脈傳輸的訊號 (horizontal

clock, H1、H2)，同時將感光二極體的電荷經傳輸閘時脈 (transfer gate, TG)，使電荷信號傳輸至暫存器再經水平時脈將電荷導出。另一時脈信號用於控制曝光時間 (expose time) 的時脈，可調整時脈的長短改變曝光的時間，作為電子快門的設計。重置時脈 (reset time) 將視訊信號拉至固定的參考電位，此參考電位在使用像素 CDS 的 ADC 取樣時，是重要的參考信號。針對 ADC 取樣同步的要求，此晶片也需產生 clamp 的時脈及 ADC 同步轉換的信號，使 ADC 能正確地擷取信號。為使轉換後的數位資料與外部的擷取介面同步，故必須輸出像素及掃描線的時脈信號，兩信號亦經 LVDS 晶片的電壓轉換再傳送出來。以上的時脈信號皆透過 Altera 的 FPGA 發展軟體 Max+PlusII 來模擬，並燒錄至 FPGA 晶片上。同時在 FPGA 晶片的輸入端，連接了一顆單晶片控制器 (89C2051) 做為設定與溝通之用，並利用串列埠 (RS-232)，將人機界面上使用者設定的參數值傳送至系統模組，後經 FPGA 晶片改變不同時脈的長度，達到軟體設定與控制的目的。經設定後所得較佳的參數值，可儲存在電子式可抹除之惟讀記憶體 (electrically erasable ROM, EEROM)，做為下次使用的起始值。在此我們考量系統體積、功率及需求，採用串列式的 EEROM。目前系統設定的像素率為 2 MHz。

第四板層是此系統模組所有的電源供應電路，考量使用者的便利性，我們設計只要輸入單電壓 (24 V) 便能轉換成系統所需的電壓準位，如正 15 伏特與負 15 伏特的電壓，並提供 CCD 所需要的各種不同電壓值的電源，如類比正 15 伏特、類比正

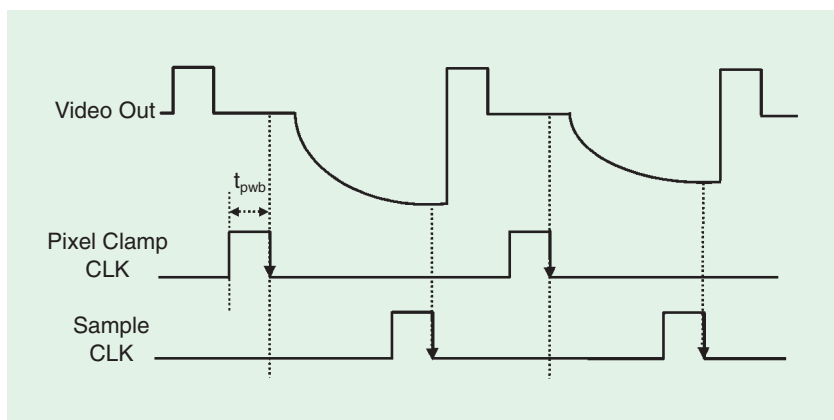


圖 5. Pixel clamp 時脈圖。

5 伏特、類比負 5 伏特、數位 5 伏特以及其他所需要的各種電源等。在此考慮需要具有小體積、低消耗功率及具高轉換效率的特性，故使用直流轉直流的電壓轉換器 (DC-DC converter) 元件，產生所需的各種不同電壓。而每一組電源前皆透過 RLC 所組成的低通電路濾去電源雜訊，亦避免各級電路的雜訊透過電源線路互相干擾。而在整流元件上皆加裝一個保護用二極體。然而 CCD 所需用的一些電壓位準值較為特殊，在使用前必須先利用不同電阻值調整出正確電壓位準。本板電路佈局時需特別注意地線問題，類比地線與數位地線需完全隔開直到總電源輸入端再整體連接。電源線的銅箔寬度皆比其他電路板的信號線寬度要大，以提高抗雜訊的能力，且在總電源匯流處 PCB 板上銅箔需更多連接面積。

完成的四個板層如圖 6(a)、(b)、(c) 及 (d) 所示，各板層間信號的傳輸以排線相連接，而 RGB 三條視訊信號使用 50 歐姆的傳輸線連接，減少信號的失真。圖 6(e) 所示為四個板層組合實體圖。

## 2. 旋轉平台建構

因此為線型式的感測器，若要呈現一張完整的二維影像必須移動一個軸，再將線型的影像結合成一張完整影像。移動軸如果在自動化的生產線上，便可利用輸送帶移動來進行二維影像的獲得。本研究中我們使用旋轉平台來作為一個移動軸，其建構圖如圖 7 所示，其中平台上有一個標準鏡頭 ( $f = 90$  mm) 及平台遮光罩用於遮蔽除由鏡頭方向照入的所有雜光。旋轉軸上的移動是由 Newport 公司生產的旋轉平台 (PM-500) 來進行，其精密度可達  $0.025 \mu\text{m}$  和  $40 \text{ mm/s}$ ，符合取像時所需的移動精度與速度。而旋轉平台連接至控制盒進行驅動與控制<sup>(11)</sup>。

## 3. 影像擷取及控制圖控介面軟體

擷取軟體主要是由 Microsoft Visual C++ 6.0 搭配 National Instruments 公司生產的 LabWindows/CVI Ver. 5.5 元件撰寫而成，並配合 Matrox Meteor II 之影像擷取卡。因此為線型的感測器軟體，具有的功能如下：控制旋轉平台轉動與回授控制、系統模組的對焦偵測、單張影像擷取、連續影像擷取及影像

檔案顯示與儲存等等功能。同時在介面的操作過程，能即時顯示目前擷取 CCD 輸出 RGB 各影像訊號之輪廓 (profile)，用於回饋操作者判斷光亮強度如何，是否必須調整積分時間增減累積的光子數，或改變增益值來進行信號放大倍率的調整等。在調整積分時間及增益亦由此軟體來完成，同時也可將設定值直接儲存於模組的記憶體中，在下次使用時不需再進行任何設定，就可使用上次調整後的設定值。

## 四、實驗測試

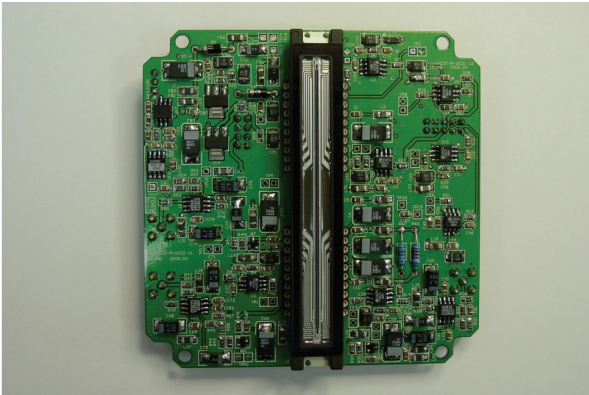
完成各部分的次模組及軟體後，欲了解整個模組的特性，我們設計兩個實驗測試環境，一是光電參數測試，其目的為測試整個模組的光電反應性能。另一是戶外測試，目的為測試模組在實際戶外取像時的影像品質。

### 1. 光電參數測試

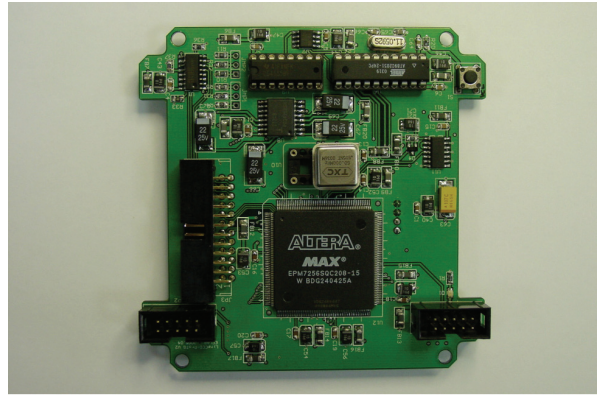
將製造完成未含標準鏡頭的模組進行光電參數測試，主要是用於測試模組的光電參數，我們量測模組的參數有均勻度 (PRNU) 及線性度 (linearity)<sup>(9)</sup>。測試架構顯示於圖 8，可經由電腦內含影像擷取卡及軟體擷取經 LVDS 的界面傳送出的影像資訊，爾後進入個人電腦端進行資料分析、處理或儲存，並建構一個 XYZ 的移動平台，以調整待測體之正確量測位置。同時使用 Osram 公司生產的型號為 64653 Xenophot lamp 作為光源，再經積分球產生均勻光，其積分球內壁採用  $\text{BaSO}_4$  塗佈製成。使用校正的儀器是 Analytical Spectral Devices 公司生產的 FSP 350-2500P 的機型，並配合該公司的 Fieldspec Pro RS<sup>3</sup> Ver. 2.3 的軟體，取得 CCD 感測器所在位置的絕對亮度值，作為分析與校準之用。均勻度的定義如下式 (1) 所示，其中  $D$  的值是擷取到的讀值。

$$\text{PRNU} = \frac{D_{\max} - D_{\text{mid}}}{D_{\text{mid}}}, D_{\text{mid}} = \frac{D_{\max} + D_{\text{mid}}}{2} \quad (1)$$

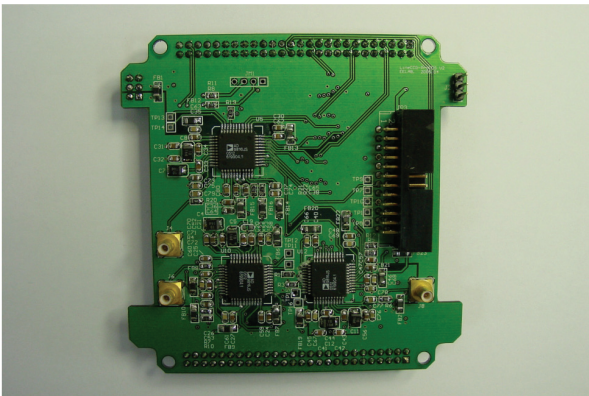
$D_{\max}$ ：最大值， $D_{\min}$ ：最小值， $D_{\text{mid}}$ ：平均值。



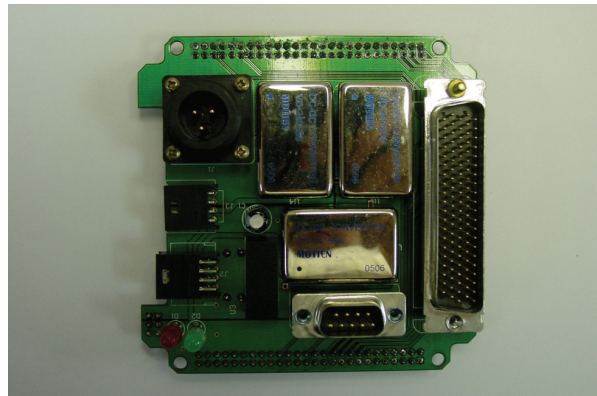
(a)



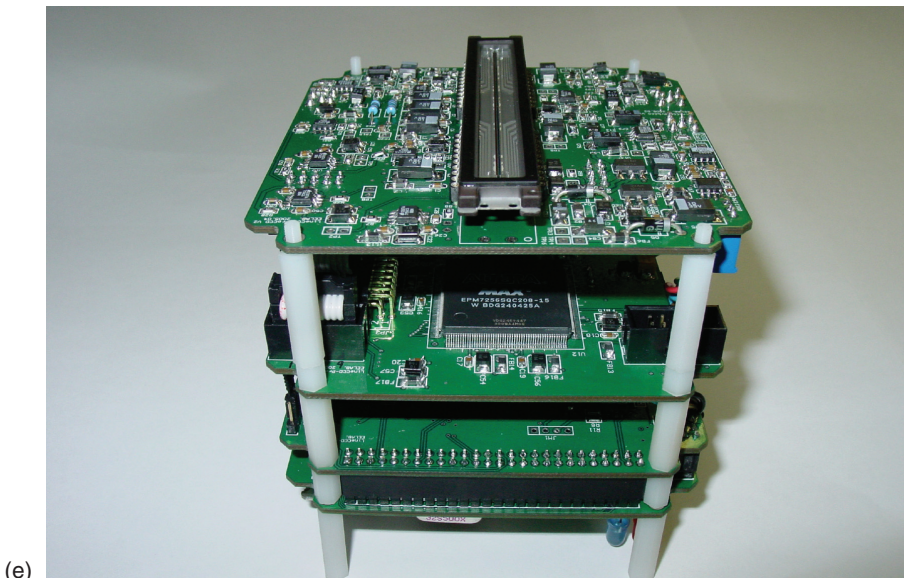
(b)



(c)



(d)



(e)

圖 6.

系統模組實體圖，(a) 第一板層，(b) 第二板層，(c) 第三板層，(d) 第四板層，(e) 完整模組。

## 2. 對焦及戶外擷取影像測試

完成光電參數測試後，需將標準鏡頭準確放置在 CCD 模組的焦平面上，此工作便是進行對焦，才能將最佳的影像聚焦在感測器上。在實驗室內利

用點光源發射出光線透過準直儀 (collimator) 產生準直光，再投射至 CCD 模組，同時觀察擷取到的視訊信號之輪廓圖，並重複調整旋轉平台及焦平面與鏡頭之距離，使得輪廓圖中峰值最高，本研究的

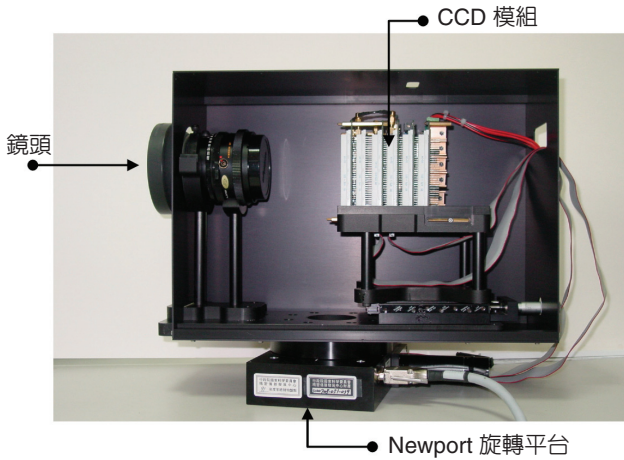


圖 7. 未蓋上遮光罩之內部實體圖。

調整過程中，使峰值的半波寬約控制在 2—3 個像素內，並重複調整 RGB 三條感測器，進而求取一最佳焦點，並將焦平面定位。爾後再進行戶外的取像測試。

戶外擷取影像測試的主要目的是為了取得更大靜態範圍的影像，相對於室內取像的小範圍，大範圍影像可以更清楚地觀察出 CCD 模組之電路特性與影像品質之優劣性。並實際驗證整個系統的功能與特性，作為系統修正參考。戶外擷取影像測試系統如圖 9 所示。取像系統包括：CCD 模組、PC、

影像擷取卡、旋轉平台及旋轉平台控制器。取像時的旋轉平台速度設定在 3 arcsec/s；天氣狀況為晴天，取像地點為本中心內部朝外部觀測，取得的影像為新竹科學園區的部分道路與建築影像。

## 五、結果與討論

### 1. 光電參數分析

實驗測試過程中，每改變一個亮度值，我們皆擷取 100 條的讀值資料，經由擷取軟體獲得，而實驗亮度值的改變，從  $0.052 \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}$  至  $1.167 \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}$  分成十個階層 (step) 進行。由擷取 100 條的讀值資料，可計算出每一條之平均值 (mean)，再由這 100 筆的平均值算出它們的標準差 (std)，結果以 Blue 為例顯示於表 1。同時進行不同亮度值下的均勻度 (PRNU) 計算，每一條均勻度經計算後，再將 100 條的結果得其平均值，顯示於表 1 右側，以 RGB 三條感測器其值皆在 4—8% 之間。將實驗測試的平均讀值與輻射度計量得的亮度值，進行線性迴歸分析，以得到模組的線性度特性，結果顯示於圖 10，橫軸表示擷取到的讀值，而縱軸代表亮度值。由圖中可觀察出 RGB 三個頻帶均擁有不錯的線性度 ( $R^2 \geq 0.998$ )，所得的三條迴歸趨勢

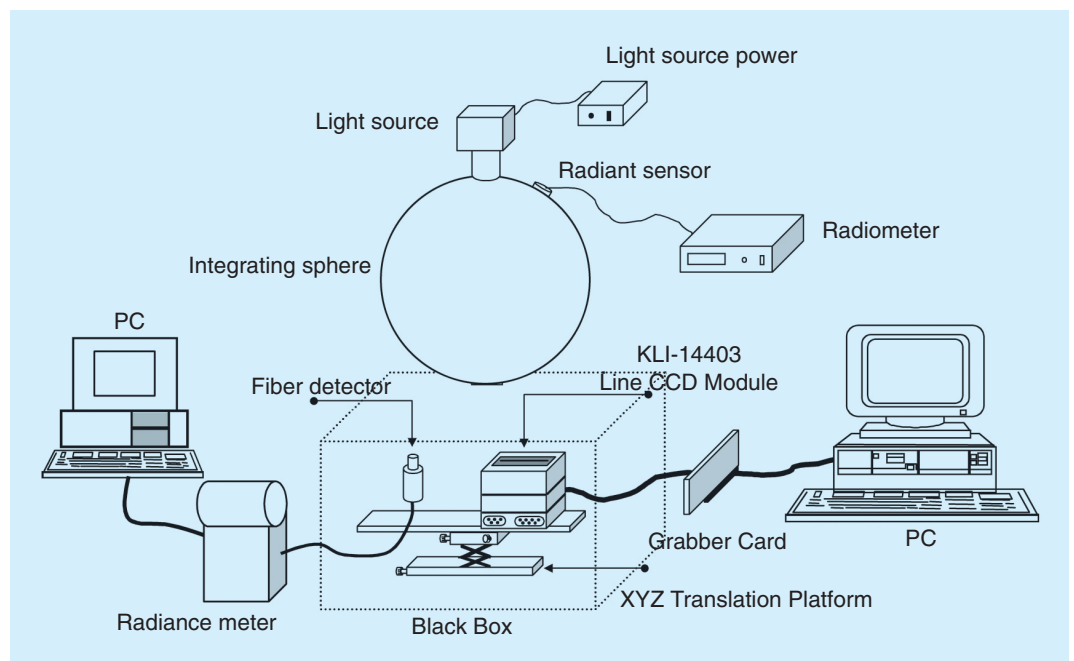


圖 8. 光電參數測試。

表 1. 不同照度下讀值與均勻度之關係。

5MHz,12bits	Input	Output		Output
	Radiance ( $W/m^2 \cdot sr$ )	Reading		PRNU(%)
		Mean	Std	
1	0.052	121.77	0.86	6.72
2	0.227	320.12	0.93	6.79
3	0.402	532.06	1.13	6.15
4	0.577	743.81	1.59	7.72
5	0.752	937.61	1.82	5.93
6	0.927	1168.19	2.36	7.53
7	1.102	1371.31	2.26	5.23
8	1.277	1592.81	2.78	7.38
9	1.452	1826.12	2.74	5.28
10	1.627	2016.72	3.19	5.85

曲線顯示於圖 10 的右下角，而每條迴歸線與各量測值間的差分和 (sum of difference, SD) 亦顯示其中。由量測的結果可知，我們可得到在 RGB 波段中，皆有不錯的均勻性，其值皆落在 4%—8% 之間。觀察線性度的結果，我們可發現紅色感測器對光的響應較為敏感，主要原因在於 CCD 感測器上未加入抗紅外波的濾波鍍膜 (IR coating)，所以進入感測器的紅外光波亦較強之故。在 RGB 三色的顏色響應中，影像上具有良好的線性度關係。

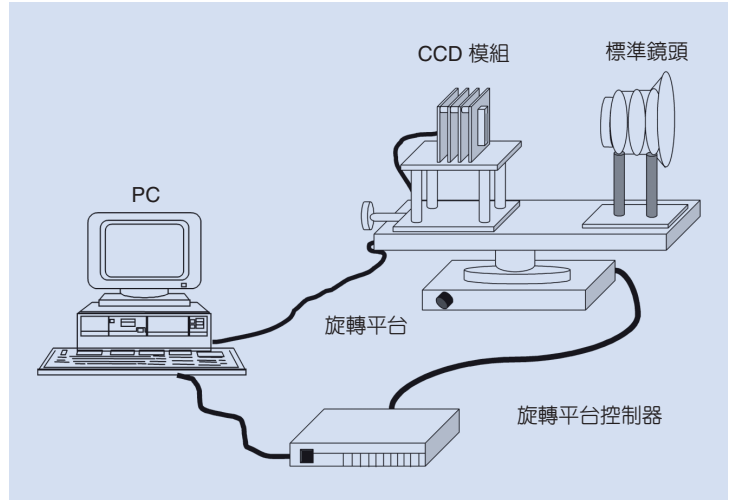


圖 9. 戶外擷取影像測試示意圖。

## 2. 實際取像結果

根據獲得的影像，可以觀察出影像具有高解析度、全景及高清晰度之優點。圖 11 之解析度高達 2 千 3 百萬像素，橫軸有 14403 像素，此為 CCD 感測器的像素總長，縱軸有 16000 像素，此為旋轉平台轉動的角度大小，這同時也是線型 CCD 的優點之一，只要儲存空間許可，橫軸固定為 14403 像素，縱軸可以無限延伸。此外，在影像之中有奇偶線輻射度不一致的情形，其主要的的原因是 CCD 感

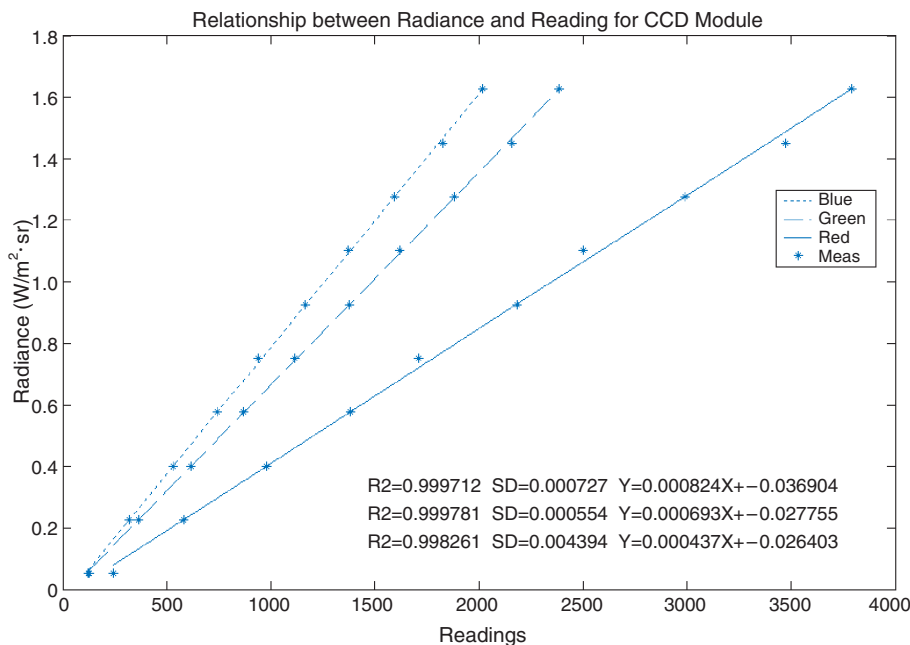


圖 10. 線型 CCD 模組線性度相關迴歸分析圖。



圖 11. 新竹科學園區的部分道路與建築圖 (藍色感測器之影像)。

測器本身在導出光二極體時，使用奇偶兩條導出路徑，而兩條路徑上的增益並非一致，所以造成奇偶線相間的問題。我們可以利用積分球進行各像素點之調整校正，修正輻射度的差異。此差異也會些微的影響到先前的光電參數量測中均勻度特性。在抓取的影像中發生掉格的情形，可經由改良記憶體的管理控制程式或減慢取像速度來解決。

## 六、結論

經由電路的設計、製造、組裝與除錯，並配合韌體與軟體的撰寫，初步已完成整個模組。並經由初步的光電參數量測，獲得整個模組的初步性能，具有不錯的線性度 ( $R^2 = 0.998$ ) 與均勻度 (PRNU < 10%) 的表現。並經由與鏡頭的搭配及對焦工作的完成，實際進行戶外取像測試，能獲得實際的戶外

影像，成功驗證了系統實際的可行性，亦提供未來須改進之處。使用此高解析度的感測器，也可在應用上搭配其他檢測用的鏡頭，使用於大面積檢測平台的建立。未來的研究上希望配合系統模組的電氣信號量測及光電參數測試，有系統性的設定、調整或選擇 CCD 週邊電路之元件及有效的抑制雜訊之干擾的方法與對策。並經由量測的數據，進而建立 CCD 感測器及週邊電子電路的理論模型，經由理論模型的建立與實驗數值的量測，最後希望求得此一類系統的最佳解決方案。

## 參考文獻

1. 光電產業發展剖析, 工研院經資中心 (2000).
2. *Application Note Solid State Image Sensors Terminology*, Rochester, New York: Eastman Kodak (1994).
3. L. J. Pinson, *Electro-Optics*, University of Colorado, Colorado

- Springs, USA (1985).
4. *Charge-Coupled Device (CCD) Image Sensors*, Rochester, New York: Eastman Kodak (2001).
  5. C. Gerald Holst, *CCD Arrays, Cameras, and Displays*, 2nd ed., Washington: SPIE (1998)
  6. R. James Janesick, *Scientific Charge-Coupled Devices*, Washington: SPIE (2000)
  7. *KLI-14403 Datasheet*, Rochester, New York: Eastman Kodak Corp. (2001)
  8. 許書務, 光感測器界面專題製作, 全華科技圖書 (1994).
  9. *AD9816 Datasheet*, USA: Analog Device Corp. (2001).
  10. S. B. Huq and J. Goldie, *An Overview of LVDS Technology AN-971*, USA: National Semiconductor Corp. (1998).
  11. *PM500 Operation and Command Reference Manual*, Irvine CA: Newport Corp. (1995).
- 

- 黃基哲先生為國立成功大學醫學工程博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。
- 吳孟修先生為國立成功大學工程科學碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。
- 林群富先生為中原大學電機工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

- 黃哲政先生為國立中央大學光電科學碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。
- Ji-Jer Huang received his Ph.D. in biomedical engineering from National Cheng Kung University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Meng-Hsiu Wu received his M.S. in engineering science from National Cheng Kung University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Chun-Fu Lin received his M.S. in electrical engineering from Chung Yuan Christian University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Che-Cheng Huang received his M.S. in optical science from National Central University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.